



行政院所屬各機關因公出國人員報告書  
(出國類別：考察)

# 鋼結構橋樑維修技術 考察報告書

服務機關：交通部台灣區國道高速公路局

出國人員：北工處內湖段段長李漢洲

技術組正工程司陳善棟

|                         |
|-------------------------|
| 行政院研考會 / 省（市）研考會<br>編號欄 |
|                         |
|                         |
|                         |

出國地點：日本

出國日期：中華民國 89 年 12 月 13 日至 12 月 20 日

報告日期：中華民國 90 年 3 月 20 日

# 鋼結構橋樑維修技術

## 考察報告

### 目 錄

|                  |    |
|------------------|----|
| 壹、緣起.....        | 1  |
| 貳、考察行程.....      | 2  |
| 參、日本鋼橋檢測及維修..... | 14 |
| 肆、橋樑補強方法.....    | 27 |
| 伍、考察心得與建議.....   | 32 |
| 附錄 瀨戶大橋維護管理..... | 33 |

## 壹、緣起

台灣地處亞熱帶海島型氣候，氣候潮濕多雨，是屬易腐蝕環境。此外，台灣位於地震帶上，地震頻繁，再加上污染、施工不良、超載情形普遍等人為因素，造成橋樑劣化情形嚴重，不僅縮短橋樑之使用壽命，甚至會造成生命財產的損失。因此對於既有橋樑，如何增長其使用年限已成為一重要課題，欲達此一目的，橋樑之定期檢測及適當維修工作乃為不二法門。

由於國內早期以混凝土橋為主，對於混凝土橋已發展出較完整之檢測評估系統。近年來橋樑施工技術日益精進，鋼構橋樑由於具有節省砂石料、重量輕、製作加工容易、施工工期短等優點，因此成為各主管單位樂於採用之橋樑型式之一，有鑑於國內新建鋼構橋樑日益增多，但因鋼料易於腐蝕或材料彈性疲乏等現象，因此有必要儘速建立一套鋼構橋樑檢測制度及對應之維修方法。

本局於八十九年度派員出國計畫預算中，編列本計畫（考察鋼結構橋樑維修技術）赴日考察預算，故排訂於八十九年十二月十三日至十二月二十日期間遴派本局北工處內湖段李漢洲段長及技術組陳善棟工程司赴日考察。

## 貳、考察行程

本次考察行程，承昭凌工程顧問公司巫顧問協助安排，於行前多次與該公司有合作關係之日本工程顧問公司接洽，並經日本近代設計公司之妥善安排考察行程及住宿旅館，始得以順利成行，特予感謝。

### 一、考察行程表

| 日 期      | 行 程   | 摘 要                      |
|----------|-------|--------------------------|
| 89.12.13 | 台北-東京 |                          |
| 89.12.14 | 東京    | 拜訪近代設計公司及日本道路公團東京第一管理所。  |
| 89.12.15 | 東京-靜岡 | 拜訪日本道路公團靜岡管理事務所。         |
| 89.12.16 | 東京-橫濱 | 參觀東京灣橫斷道路、橫濱二橋。          |
| 89.12.17 | 東京    | 整理考察資料。                  |
| 89.12.18 | 東京-大阪 | 參觀常吉連絡橋、舞州連絡橋及駒井鐵工之補強工地。 |
| 89.12.19 | 大阪    | 參觀明石大橋、大鳴門橋及瀨戶大橋。        |
| 89.12.20 | 大阪-台北 |                          |

## 二、考察行程記錄

首日拜訪日本道路公團東京第一管理所，東京第一管理所乃管理南關東及東海地區之東名高速公路及十三條一般收費道路，其下共有七個管理事務所，分別為橫濱、御殿場、富士、靜岡、袋井、京濱以及小田原管理事務所。其主要業務含料金收取、可變式道路情報板、事故處理、故障車排除、掉落物排除、點檢作業以及維修補強作業等。

12/15 由東京搭新幹線到靜岡拜訪靜岡管理事務所，該事務所主要負責管理清水 菊川之東名高速公路，全長約 54 公里。由該事務所例行簡報得知其點檢作業乃依據日本道路公團於昭和 60 年編訂之點檢手冊，目前該手冊正在修訂當中。此外，該事務所目前有多個工地正進行補強工程，於是緊接著前往瀨名高架橋參觀補強工程，其補強項目包含橋墩補強(照片一)、加設主梁及橋面板鋼板補強(照片二)，另外為方便作業於鋼梁下架設施工平台(照片三)。

12/16 由東京出發前往東京灣橫斷道路，此乃連絡川崎及木更津市之道路，其中由人工島至木更津市為跨海高架橋，全長約 4.4 公里，為連續箱型梁鋼橋(照片四)。接著前往橫濱參觀橫濱二橋(照片五)，於橫濱二橋前之高架橋正進行維修工程，二孔箱型鋼梁間預留檢測維修步道且箱梁下設有吊勾(照片六)，方便維修時吊掛施工平台(照片七)，同時橋墩亦架設檢測梯(照片八)，往後國內新建橋樑可考慮加上這些設施以便於後續檢測維修工作。

12/18 一早由東京搭新幹線到大阪，參觀大阪近郊常吉大橋(照片九)，該橋為鋼床箱型梁斜張橋，橋長約 340 公尺，箱梁下方亦設有維修吊勾(照片十)，支承處設有防落裝置(照片十一)。接著參觀夢洲及舞洲連絡橋，此橋為因應大船的進出而設計為浮體式可動橋(照片十

二)，支點間橋長 280 公尺，支點浮於海面，藉由兩側反力壁之特殊裝置以傳遞各方向的力。最後參觀一處橋樑補強工地(照片十三)，自阪神地震發生後，日本陸續對所有橋樑進行耐震補強工程，包含橋墩補強、上構防落裝置，同時為了提高車輛載重一併補強主梁及橋面板。

12/19 參觀明石海峽大橋(照片十四)，為世界第一長吊橋，全長 3911 公尺，中央跨長 1911 公尺，由於吊橋受風力影響甚大，為驗證吊橋受風力影響之各項受力及變形狀態，建造前曾以一縮小尺寸 1/100 模型作風洞試驗(照片十五)。大鳴門橋為淡路島及四國連絡橋(照片十六)，全長 1629 公尺，中央跨長 876 公尺，橋上設置有檢測維修作業車(照片十七)。最後參觀瀨戶大橋，該橋為連絡本州及四國，全長 1446 公尺，中央跨長 940 公尺，由於吊橋跨度大，且受風力影響嚴重，欲保持其正常運作，平時維護管理格外重要，於附錄一特別針對瀨戶大橋之維護管理加以說明。

## 參、日本鋼橋點檢及維修

橋樑一般檢查的目的乃掌握橋樑使用狀況及損傷情形，以確保行車安全、交通順暢並防止造成第三者的障礙；檢討並改進導致損傷之原因，使得橋樑結構物保持良好的狀況；作為進一步從事特殊檢查或建立維修補強計劃之依據。

橋樑一般檢查之種類包含(1)日常檢查：為確保行車安全順暢、防止對第三者的障礙，而於平常所實施之檢查。(2)定期檢查：為掌握橋梁結構物之健全度，早期發現並評估造成功能減低之損傷及其原因，定期對橋樑結構物實施之檢查。(3)臨時檢查：當災害發生有可能造成損傷，為防止損傷之持續惡化而實施之檢查；亦包含探討日常檢查、定期檢查發現之損傷原因，持續進行之追蹤調查。

致於其檢查頻率，原則上日常檢查每日一次，定期檢查每年實施一次，而臨時檢查有必要時實施。

茲將本次赴日收集到之部份資料整理翻譯供國內參考，詳細資料仍請參閱日本“維持修繕要領－橋樑篇”。

### 一、點檢

#### (一)鋼構造物

1.適用範圍：鋼梁、鋼床版、鋼橋墩、鋼橫梁、鋼製落橋防止裝置以及檢測維修步道。

2.點檢項目：

表 3.2

| 種 類                     | 項 目                                            |
|-------------------------|------------------------------------------------|
| 鋼梁<br>鋼床版<br>鋼橋墩<br>鋼橫梁 | 1 構件裂縫 2 構件彎曲、變形<br>3 螺栓損傷、鬆脫 4 異常聲音<br>5 橋下空間 |
| 鋼製落橋防止裝置<br>檢測維修步道      | 1 構件損傷 2 構件間距異常<br>3 螺栓損傷、鬆脫                   |

### 3. 判定

表 3.1

| 等 級                     |         | AA                    | A                          | B                  |
|-------------------------|---------|-----------------------|----------------------------|--------------------|
| 鋼梁<br>鋼床版<br>鋼橋墩<br>鋼橫梁 | 構件裂縫    | —                     | 構件有裂縫或斷面減少                 | 構件局部裂縫             |
|                         | 構件彎曲 變形 | 構件損傷持續進行，可能造成第三者之障礙   | 主構件有明顯變形                   | 構件局部彎曲、變形          |
|                         | 螺栓損傷 鬆脫 | 螺栓脫落或持續性脫落，可能造成第三者之障礙 | 一個接合處 2 個以上螺栓損傷、欠缺         | 一個接合處 1 個以上螺栓損傷、欠缺 |
|                         | 異常聲音    | —                     | 主構件有搖晃之情形，或因車輛之衝擊有大的異常聲音發生 | 有異常之金屬聲音發生         |
|                         | 橋下空間    | —                     | 橋下空間不足                     | —                  |
| 鋼製落橋防止裝置<br>維修步道        | 構件損傷    | 構件損傷持續進行，可能造成第三者之障礙   | 主構件有明顯變形                   | 構件局部彎曲、變形          |
|                         | 構件間距異常  | —                     | 梁端接觸或有接觸可能                 | 間距不足               |
|                         | 螺栓損傷 鬆脫 | 螺栓脫落或持續性脫落，可能造成第三者之障礙 | 一個接合處 2 個以上螺栓損傷、欠缺         | 一個接合處 1 個以上螺栓損傷、欠缺 |

#### (二) 塗裝

1. 適用範圍：鋼結構物外面、箱梁、鋼橋墩內部及梁端部。
2. 點檢項目：裂縫、膨脹、脫皮、生鏽、褪色、漏水及積水

### 3. 判定標準：

表 3.3

| 等 級 |                        | AA | A                                                                                    | B                                   |
|-----|------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 塗 裝 | 裂縫、膨脹、<br>脫皮、生銹、<br>褪色 | —  | 發生面積佔全<br>體面積 20%以上                                                                  | 發生面積佔全<br>體面積 10~20%<br>之間          |
|     | 漏水、積水                  | —  | 因漏水造成主<br>構件 0.25m <sup>2</sup> 以<br>上腐蝕<br>箱梁內部滯水<br>造成 0.25m <sup>2</sup> 以<br>上腐蝕 | 因漏水造成構<br>件局部腐蝕<br>箱梁內部滯水<br>造成局部腐蝕 |

表 3.4 銹的評點

| 評 點 | 狀 況                          |
|-----|------------------------------|
| 40  | 生銹面積達所調查處的面積之 3%以上。          |
| 30  | 生銹面積達所調查處的面積之 1%以上~3%以下。     |
| 20  | 生銹面積達所調查處的面積之 0.3%以上~1%以下。   |
| 10  | 生銹面積達所調查處的面積之 0.1%以上~0.3%以下。 |
| 0   | 未看見異常。                       |

塗裝之判定可參考下表：

部位的評點超過約 20 點時，有需要考慮重新油漆。

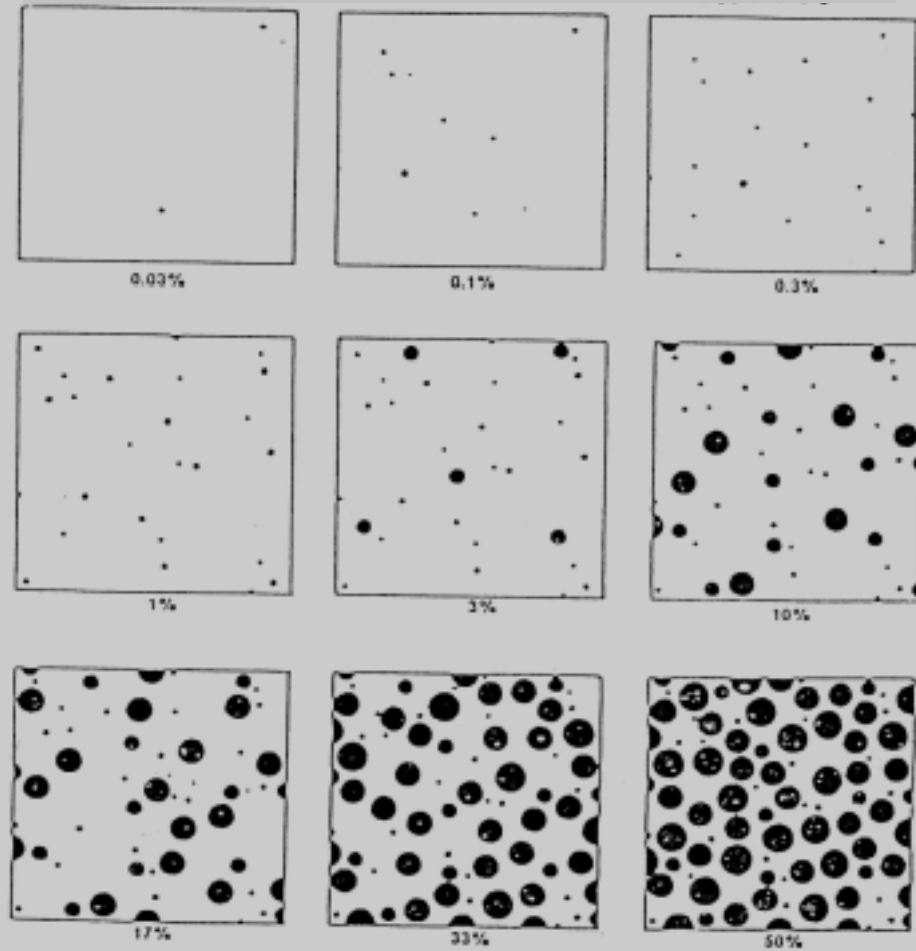


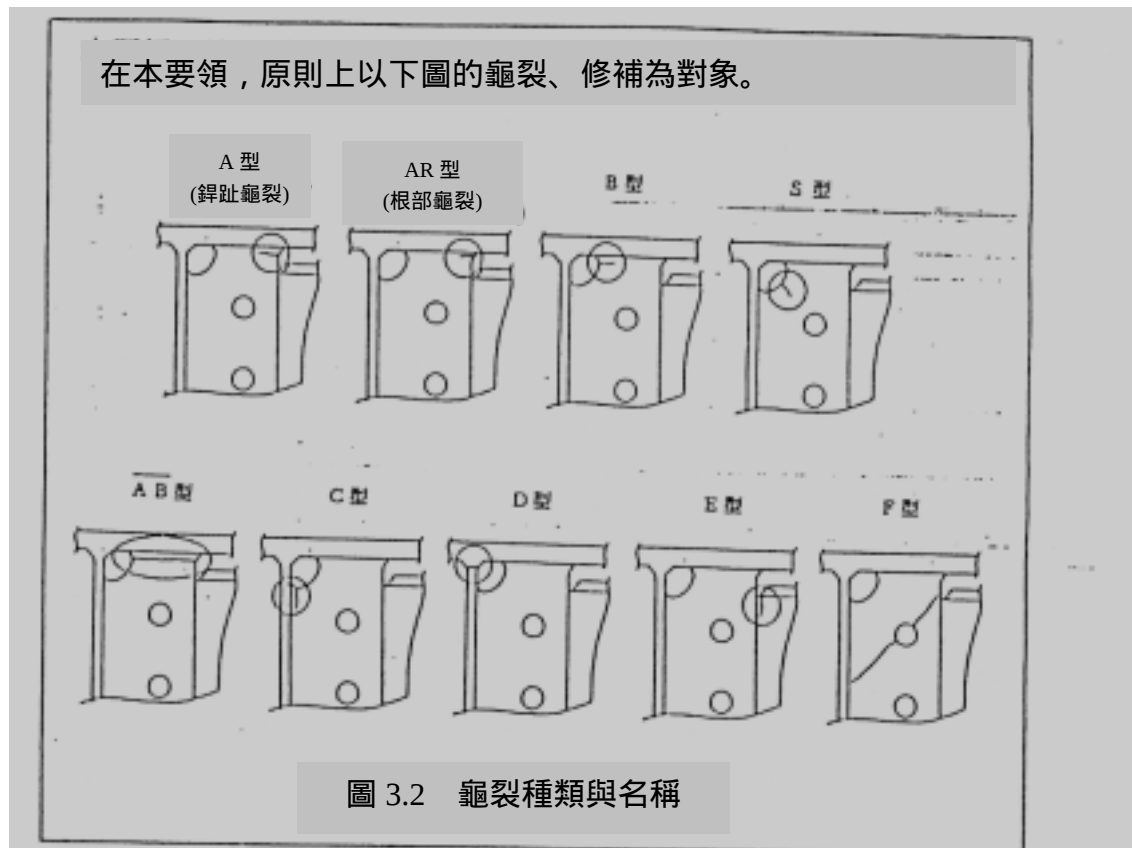
圖 3.1 塗膜劣化的比率

美國鋼結構物協會 (S. S.P.C) 塗裝規範 (1964)

所塗裝鋼表面生銹程度的標準評估方法

### (三) 銲接

#### 1. 銲接部位缺陷種類如圖 3.2：



各類龜裂的特徵如下：

A 型：垂直加勁板上端處當中，從垂直加勁板前面周圍焊接處的焊接銲趾(終端)處發生的龜裂，是最多見的型態。

AR 型：對 A 型龜裂從銲腳趾產生，AR 型同樣是從周圍銲接處填角銲的根部發生，可認為是進展中而在銲道的表面(在中央處為多)出現的龜裂。

為與 A 型的銲趾龜裂區別，發生於銲道中央處附近龜裂稱為 AR 型的根部龜裂。

B 型：從垂直加勁板的銜接切口側的周圍焊接終端發生的龜裂。

$\overline{AB}$  型：垂直加勁板與主梁上翼板的銲接處全寬貫通狀態的龜裂。

C 型：在垂直加勁板與主梁腹板銲接處，從銜接切口的下端發生的龜裂，進展方向是沿銲接的銲道，也有從途中裂至垂直加勁板或腹板的，也有這些複合共存的情形。

D 型：在主梁的腹板與上翼板間的頸部銲接處發生的龜裂，與  $\overline{AB}$  型或 C 型的龜裂共存的情形很多。

E 型：隔板的上翼板端部與垂直加勁板之間，在接板發生的龜裂。

F 型：以橫貫錨釘孔的形式發生於垂直加勁板的龜裂。

S 型：從銜接切口端發生於垂直加勁板的龜裂。

在隅角銲接處發生的龜裂，分為銲趾龜裂與根部龜裂。銲趾龜裂是從銲接終止處往母材破壞，修補時需要減輕終端處的局部性應力集中。為此要改善終端形狀是重要的事。根部龜裂是銲道在頸部斷面破壞的情形，或從根部往最小斷面破壞的情形，是傳遞外力的斷面不足為原因而發生的龜裂。修補時增加銲道的腳長，以加大斷面是重要的事。如上所述由於兩者的發生龜裂原因不同，修補方法也不同，任一方雖都是周圍銲接處的龜裂，因此將它區別為 A 型與 AR 型。與 AR 型同樣也可考慮 BR 型 CR 型及 DR 型，但至今的調查尚未看到這些龜裂，因此未特別舉出來。若看到時，適用與 AR 型相同的修補方法。

2. 判定標準：

損傷度的判定依表 3.5：

表 3.5

以塗膜裂紋調查及詳細調查結果為依據，依照下表以龜裂的種類及長度判定其相當的損傷度（ ~ ）。

損傷度的判定

t：垂直加勁板的板厚

| 龜裂長( $\ell$ )<br>龜裂種類 | $\ell \leq t$ | $t < \ell \leq 3t$ | $3t < \ell$ | 備 考         |
|-----------------------|---------------|--------------------|-------------|-------------|
| A                     |               |                    |             |             |
| AR                    |               |                    |             |             |
| B                     |               |                    |             |             |
| AB                    |               |                    |             |             |
| C                     |               |                    |             | 龜裂進展至腹板時判定為 |
| D                     |               |                    |             |             |
| E                     |               |                    |             |             |
| F                     |               |                    |             |             |
| S                     |               |                    |             |             |
| 無                     |               |                    |             | 健 全         |

註：（損傷度最大）→ （損傷度最小）→ （無損傷度）

對龜裂種類為 AB 型與 D 型的判定，與龜裂的大小無關當做 I，對 E 型與 S 型則判定為 II。對 A 型、AR 型、B 型及 C 型，因應龜裂長度及發生位置，如以下的說明判定損傷度。

圖 3.3 與 3.4 為 A 型。肋的 A 型龜裂長  $\ell$  以  $\ell = \ell_1 + \ell_2$  表示。此  $\ell$  比垂直加勁板板厚  $t$  為短時，損傷度判定為 IV。龜裂長 ( $\ell$ ) 超過垂直加勁板的板厚 ( $t$ ) 時的損傷度則依照表 3.5。

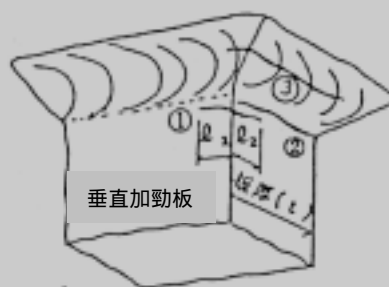


圖 3.3 周圍銲接處發生龜裂狀況(樣本圖)

一般如肋的龜裂，從銲接末端部分發生龜裂而進展的情形為多。如此的龜裂在剛發生時非常小。以浸透探傷試驗來確認也有困難。因此，在如此情形時，以目視確認塗膜有裂紋時，就視為龜裂的存在，損傷度判定為 IV。而且，胃的龜裂(A 型)是在垂直加勁板的終端處發生的龜裂，龜裂長 ( $\ell$ ) 為垂直加勁板的板厚 ( $t$ ) 以下時，損傷度判定為 IV。

發生於與 A 型反面側的銲接切口周圍銲接處的 B 型龜裂，也與 A 型同樣方法判定。

致於舢的 AR 龜裂，因為也有在根部的龜裂比表面龜裂為長的情形，所以  $\ell \leq 3t$  為止的損傷度為 III， $\ell > 3t$  則判定為 II。

對 C 型龜裂的判定，與 A 型、B 型相同，但龜裂達到腹板時則判定為 I。

## 二、維修方法

### (一) 塗裝維修方法

1. 針對鋼橋塗裝劣化進行維修時，考慮之維修塗裝方式可分為(1)局部維修塗裝。(2)部分維修塗裝。(3)全面維修塗裝等三種方式，其使用時機分別為：

(1)局部維修塗裝：對於橋樑塗膜不易塗勻的部分如連接部、螺栓頭或焊接處容易產生塗膜劣化而有生鏽之現象，需進行局部維修塗裝，以維持其防鏽效果。

(2)部份維修塗裝：一般部位塗膜健全，而部分部位劣化特別嚴重時，若無景觀上的考量，則對劣化顯著之部位進行部份維修塗裝，以延長全面維修塗裝時間。此時需考慮全面維修塗裝與部分維修塗裝數量、現場架設費用及對週遭環境和交通衝擊等因素，比較出長期的維護費用，以決定何種維修方式較經濟。

(3)全面維修塗裝：鋼橋之塗膜全面劣化或各部位之劣化程度相同時，即需進行全面維修塗裝。

### 2. 塗裝工法施工內容

#### (1) 表面處理

表面處理係將附著於鋼材表面之有害物質、鏽及劣化之塗膜去除，並對生鏽、焊接及損壞部分予以處理及修補，以利新塗膜與舊面層具有良好之附著力，由於表面處理之效果對於塗膜的耐久性影響甚鉅，故對於表面處理之方法及施工時之品質管理皆需慎重處理。

表面處理一般是先利用 2000psi 之高壓清水清洗，待完全乾燥後，以電動(氣動)手工具徹底將塗膜、鏽及異物清除，其處理之清潔度依舊塗膜之狀態做第二、第三或第四級之表面處理其等級如(表 3.6)。

表 3.6 修補塗裝時之表面處理等級

| 表面處理等級 | 舊塗膜狀態                         | 處理後的表面狀態                       | 工具及施工法                              |
|--------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| 第一級清潔度 | 生鏽嚴重，塗膜發生幾乎全面龜裂、起泡、脫皮之狀況。     | 除去鏽及黑皮塗膜，得到清淨的金屬面。             | 噴砂法<br><br>圓盤砂輪、鋼絲機等動力工具及鋼刷等手工工具併用。 |
| 第二級清潔度 |                               | 除去鏽及舊塗膜，露出鋼材面，但坑洞及狹窄處仍殘存有鏽及塗膜。 |                                     |
| 第三級清潔度 | 部分點鏽，發生塗膜龜裂、起泡、脫皮，但活膜仍有很多之狀態。 | 除去鏽、劣化塗膜，露出鋼材面，但沒有劣化之塗膜仍殘存。    |                                     |
| 第四級清潔度 | 完全沒有生鏽的塗膜有變色、粉化之狀態。           | 粉化物及附著物去除，活膜殘存。                |                                     |

噴砂法為良好的一級表面處理方式，但因施工時產生的鏽屑及塗膜碎片對於周邊環境會產生污染問題，故除非環境許可，不太容易於現場施工，一般現場的鋼構皆以動力工具或手工工具進行表面處理，但這類工具之表面處理效果僅限於表面，對於孔蝕或凹處生鏽部分則較難處理。

第二級表面處理主要是針對生鏽、剝離、浮腫及龜裂等塗膜顯著劣化的部分，將劣化塗膜之全厚即鋼材之鏽予以去除。

第三級表面處理主要是針對鋼構材上混合存在之活膜及死膜(塗膜喪失機能者)，對於活膜上之粉化物及污染物予以去除，而死膜部分則完全去除，直到露出乾淨的鋼材面為止。

第四級表面處理係將附著於活膜上之粉化物及污染物予以去除，而使活膜部分仍殘存。

## (2) 塗裝

待表面處理完成，中塗漆及面漆均須重新塗刷，而底漆則依表面處理等級不同而塗刷次數有所差異，對於露出鋼材表面

部分，應塗佈 2-3 層與原塗裝系統相同之底漆塗料，但對於底漆仍殘存活膜者，則塗刷次數可減少一次。對於第四級表面處理者，為使新舊塗膜之密著性良好，底漆只需塗佈一層即可。

下表為二種塗裝系統之施工程序及相關作業內容，可參考：

表 3.7 聚胺酯系塗裝系統施工程序及作業內容

| 施工程序   |       | 材料                          | 作業內容                                                           | 乾膜厚<br>( $\mu\text{m}$ ) |
|--------|-------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 表面處理   | 水洗    |                             | 2000psi 高壓清水清洗,待完全乾燥。                                          |                          |
|        | 局部修補  | 環氧鋅粉底漆<br>(符合 CNS K2085 規範) | 將生鏽部分利用電動(氣動)手工具徹底將浮鏽、鬆懈黑鐵皮及異物清除，研磨至其表面應有金屬光澤 SIS St3 標準。      | 100                      |
|        | 第一道底漆 | 環氧中塗漆<br>(符合 CNS K2089 規範)  | 原舊漆磨漆面有褪色粉化、脫皮，利用 40#砂輪片或電動工具(鋼刷)全面打磨，避免於溫度 5 以下或溼度 85% 以上時塗裝。 | 50                       |
| 第二道上塗漆 |       | 聚胺酯上塗漆<br>(符合 CNS K2095 規範) | 避免於溫度 5 以下或溼度 85%以上時塗裝。                                        | 50                       |
| 第三層上塗漆 |       | 聚胺酯上塗漆<br>(符合 CNS K2095 規範) | 避免於溫度 5 以下或溼度 85%以上時塗裝。                                        | 50                       |

表 3.8 氟碳樹脂塗裝系統施工程序及作業內容

| 施工程序   |       | 材料                           | 作業內容                                                           | 乾膜厚<br>( $\mu\text{m}$ ) |
|--------|-------|------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 表面處理   | 水洗    |                              | 2000psi 高壓清水清洗,待完全乾燥。                                          |                          |
|        | 局部修補  | 環氧鋅粉底漆<br>(符合 CNS K2085 規範)  | 將生鏽部分利用電動(氣動)手工具徹底將浮鏽、鬆懈黑鐵皮及異物清除，研磨至其表面應有金屬光澤 SIS St3 標準。      | 100                      |
|        | 第一道底漆 | 環氧中塗漆<br>(符合 CNS K2089 規範)   | 原舊漆磨漆面有褪色粉化、脫皮，利用 40#砂輪片或電動工具(鋼刷)全面打磨，避免於溫度 5 以下或溼度 85% 以上時塗裝。 | 50                       |
| 第二道上塗漆 |       | 氟碳樹脂上塗漆<br>(符合 CNS K2095 規範) | 避免於溫度 5 以下或溼度 85%以上時塗裝。                                        | 50                       |
| 第三層上塗漆 |       | 氟碳樹脂上塗漆<br>(符合 CNS K2095 規範) | 避免於溫度 5 以下或溼度 85%以上時塗裝。                                        | 50                       |

## (二) 銲接部位之維修

修補方法的選擇：

因應龜裂的損傷度，選擇下表所示的修補工法。

表 3.9 修補工法的選擇

| 損傷度 | 龜裂的種類  | 修 補 工 法   |         |             | 備 註            |
|-----|--------|-----------|---------|-------------|----------------|
|     |        | 龜裂的處理     | 修 補 銲 接 | 修 飾         |                |
|     | AB     | 銲道全長開槽    | 完全溶入銲接  | 研磨機或 TIG 處理 |                |
|     | C、D、F  | 龜裂全長+餘長開槽 | "       | 母材的龜裂以研磨機修飾 | 銲到處用 TIG 處理也可以 |
|     | A、AR、B | 銲道全長開槽    | "       | 研磨機或 TIG 處理 |                |
|     | C      | 龜裂全長+餘長開槽 | "       | "           |                |
|     | S、E    | "         | "       | "           |                |
|     | AR     | 龜裂全長+餘長開槽 | 部份銲接    | "           | 註 1            |
|     | A、B、C  | "         | "       | "           | 註 2            |
|     | A、B、C  | 不需要       | 加厚銲接    | "           | 銲道全長加厚         |
|     | 無龜裂    | "         | 不需要     | "           | 註 3            |

餘長：所謂餘長，即是開槽時削切的長度比龜裂長為長的意思，以從龜裂前端 20mm 長為原則。

註 1) 根部龜裂，在銲道內部的龜裂比表面所表露的龜裂長度更進展的可能性很高，因此處理龜裂時，在實施“龜裂全長+餘長”的開槽後，確認尚有殘留龜裂時，應開槽至將這些龜裂削切完為止。

註 2) 所謂部份銲接，即是將削切掉部份予以填補的銲接。

註 3) 在損傷數很多的橋梁，從詳細調查結果所能看到的全部損傷分布狀況，對判斷為發生 A 型龜裂也不感到奇怪的周圍銲接處，希望因應需要按日本維持修繕要領所示的方法予以改善終點形狀。

修補工法必須考慮損傷的程度、作用應力的大小、工程所需費用及工作性等後決定。依據東名高速公路的損傷狀況調查報告，所發現的疲勞龜裂，雖也稍有較大尺寸者，但大部份為 10mm 左右的小龜裂。

基本上是將如此小的疲勞龜裂在成長為大龜裂之前，盡可能以簡便而確實的方法加以修補，針對提高銲接處的疲勞強度，採用改善銲接及銲道形狀的修補工法。

為確保用銲接的修補工法時，作業環境或銲接條件等需要檢討的問題也很多，於是累積實施<sup>脇</sup>在現場或室內的銲接施工試驗，<sup>胃</sup>測定發生損傷直接原因的應力變形狀態，及<sup>舩</sup>修補銲接處的疲勞試驗等並予以檢討。結果，確認用銲接修補的妥當性，技術上也確保大致的修補工法。

# 肆、橋樑補強方法

日本自從阪神地震後，為提高橋樑之耐震能力，正著手進行耐震補強。補強對策包含橋墩補強、落橋防止裝置、結構系統變更等措施。

## 一、墩柱耐震補強

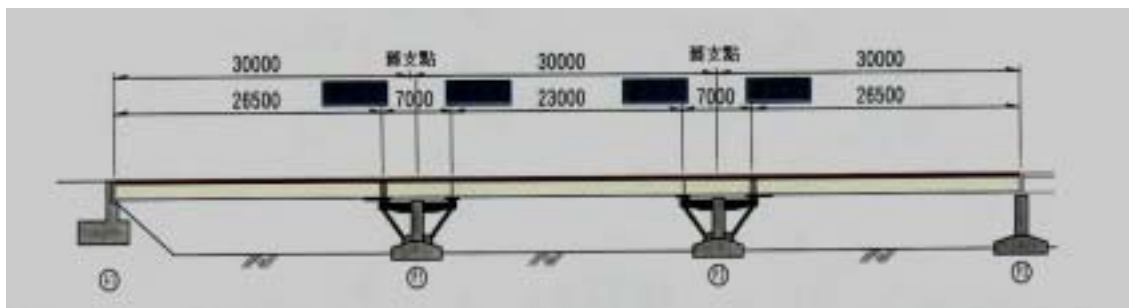
橋墩補強可採取 RC 擴柱、鋼板包覆補強、複合材料包覆補強等方式，各有優缺點，可依據橋下空間、經濟性以及施工性等因素進一步評估以取得較適合之方法。

| ■補強工法 |                                                                                                  |                                                                         |                                                                                              |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 工 法   | RC 巻立て工法                                                                                         | 鋼板巻立て工法                                                                 | CFRP 巻立て工法                                                                                   |
| 概略図   |                                                                                                  |                                                                         |                                                                                              |
| 補強厚   | 25cm                                                                                             | 4cm 前後                                                                  | 1～2cm                                                                                        |
| 特 徴   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○工費や維持管理面で優れる</li> <li>○JH の一般的な補強工法として施工実績が多い</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○補強厚さが薄く交差条件の厳しい箇所で有利</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○軽量で施工性に優れる</li> <li>○補強厚さが薄く交差条件の厳しい箇所で有利</li> </ul> |

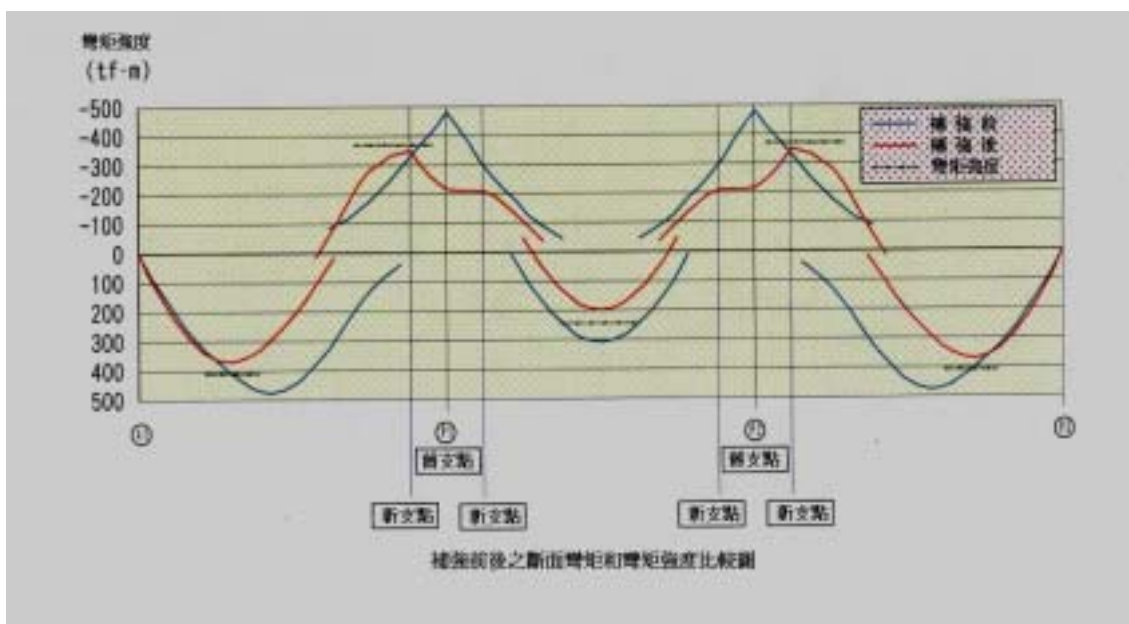
## 二、支點增設工法

增設支點基本上乃變更原結構系統，由於跨數增加，原跨徑長隨之減小，應力重新分配後，主梁之斷面彎矩分布也會改變，通常最大正負彎矩隨之降低，因此一工法可應用於改善車輛載重增加導致主梁彎矩強度不足之情況。

例：原橋跨度為 30 公尺，經擴大墩柱(增加支點)，縮小跨度為 26.5 公尺。

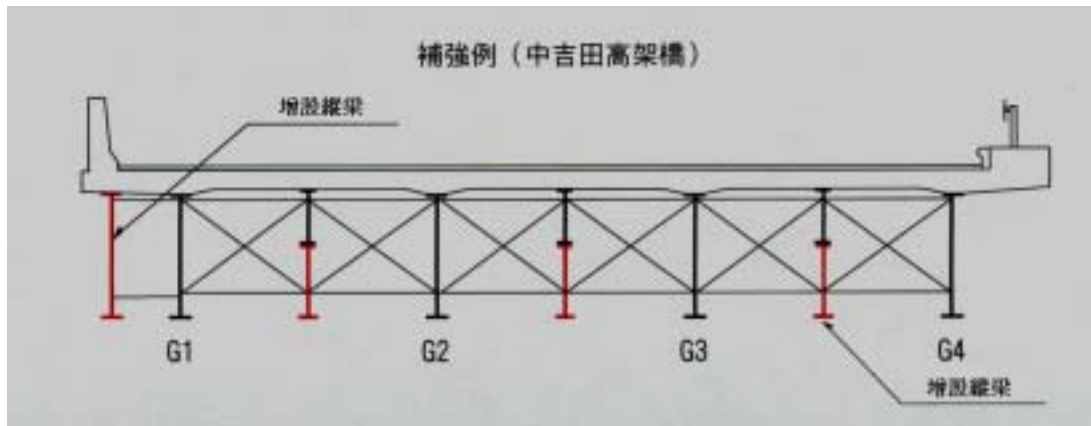


增設支點之補強效果見下方比較圖



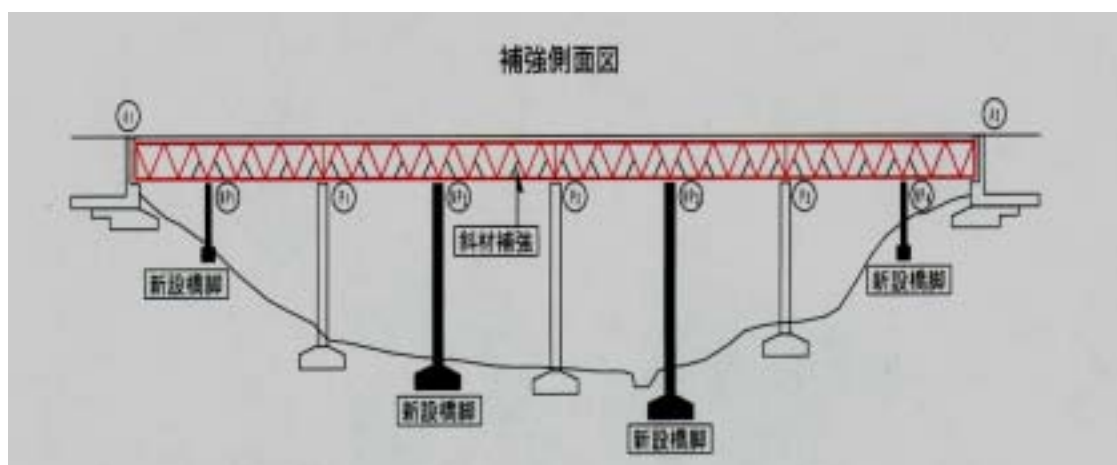
### 三、主梁增設工法

可應用於橋樑擴建時，在擴建側須增設主梁以承受上方靜 活載。此外，若因車輛載重增加以致於主梁強度不足時，可將小梁增設為主梁以分擔既有主梁之載重。



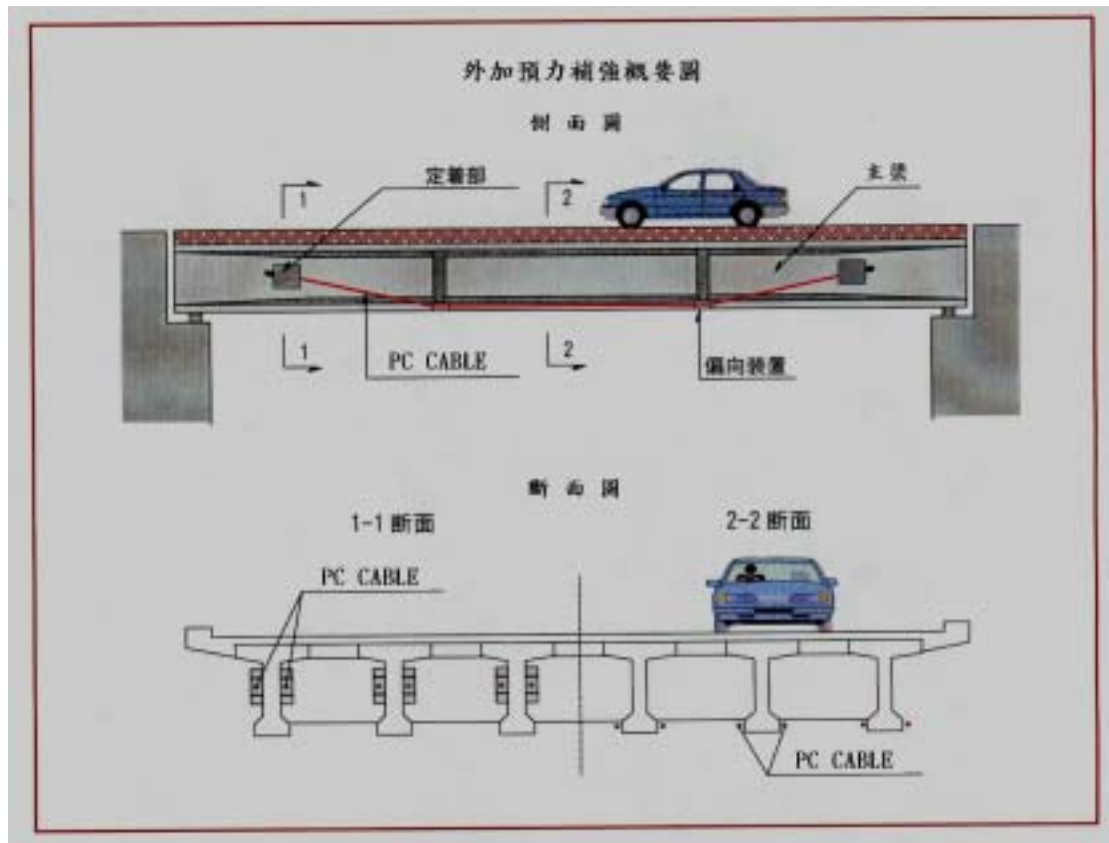
### 四、下構增設工法

增設下構不僅降低各橋墩之軸壓力，同時也改變上部結構斷面應力分布，因此若能妥善配置下構增設的位置，亦能有效改善上部結構的強度。

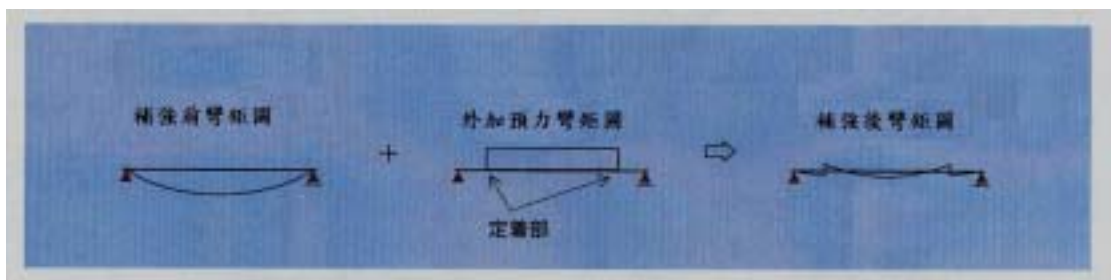


## 五、外加預力工法

施加外預力可有效改善大梁張應力過大的問題，其補強效果是很明確，然而對既有橋樑往往受限於場地以致施工困難，此外，外預力有礙觀瞻是其另一項缺點。

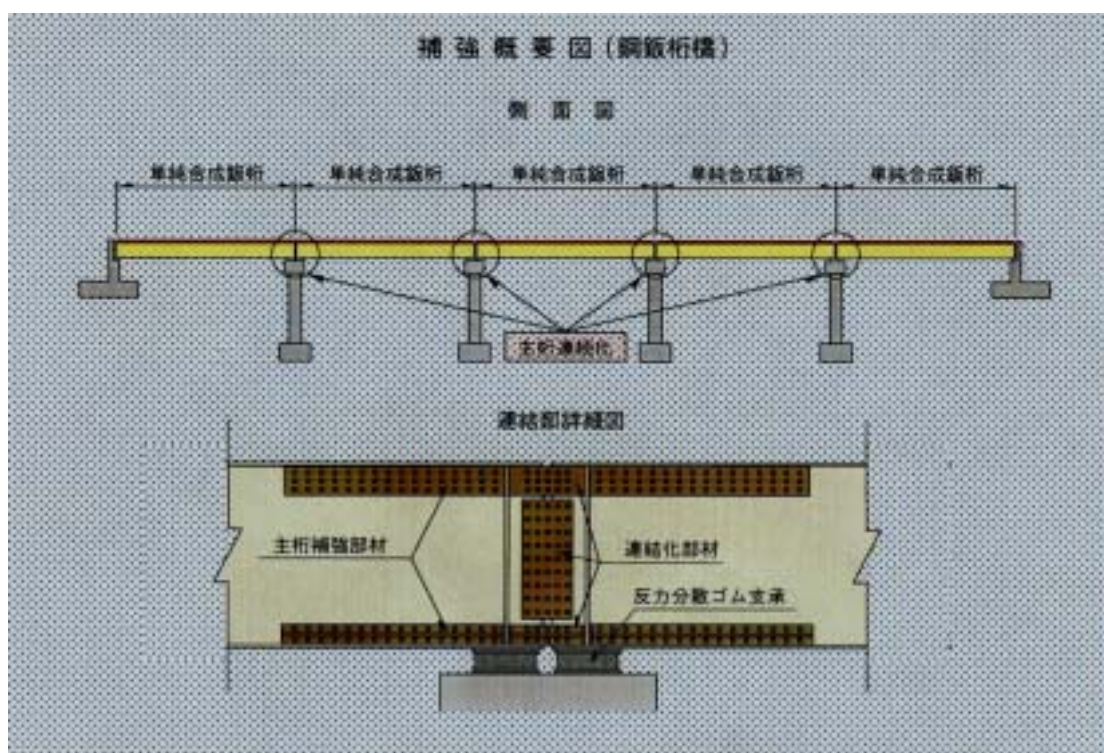


### 外加預力對斷面彎矩之影響



## 六、簡支梁連續化工法

改變結構系統，降低中央斷面之正彎矩，於支點處產生負彎矩。  
此外，此一工法可有效防止落橋。



## 伍、考察心得與建議

台灣地處亞熱帶海島型氣候，氣候潮濕多雨，是屬易腐蝕環境，再者因工業廢氣激增，汽機車排放腐蝕性氣體、酸雨等，使得鋼橋腐蝕問題日趨嚴重。鋼橋腐蝕嚴重，不僅縮短橋樑之使用壽命，甚至會造成生命財產的損失。因此對於既有鋼橋之腐蝕情形，如何進行檢測評估，如何針對腐蝕現況採取有效修補對策，實為目前國內土木工程界一大課題。欲達此一目的，建議本局宜委託一具公信力之研究機構，並由此一機構出面邀聘橋樑工程界之學者、專家參與，儘速訂定適合國內環境之鋼橋檢查手冊及修補對策，以利往後鋼橋維修工作之進行。

此外，為了方便檢測工作之進行，完善的設備是不可或缺，日本高架橋樑普遍設有維修步道、箱梁下方設有金屬吊勾方便架設施工平台、橋墩位置並留有檢測梯，建議今後新建橋樑可要求設置上述之維修設施。

然而，除了有完整的檢測制度及完善的儀器設備外，檢測人員的專業知識與判斷能力亦是不可或缺，因此檢測人員的訓練極為重要，可宜委專業機構舉辦教育訓練，結訓後領取檢測人員證照，如此可進一步提昇檢測人員的水準，確保檢測工作的品質。

本次日本考察期間，到處可見橋樑補強工程，其主要補強項目可區分為二。其一乃阪神地震後提高橋樑耐震能力，進行橋墩補強及設置落橋防止裝置；其二乃因應車輛載重增加，進行橋面版補強，主梁補強或增設主梁。國內前年才歷經九二一大地震，內政部主管單位隨即提昇耐震設計標準，同時國內車輛超載嚴重，因此國內情況和日本相似，實有必要對所有重要橋樑進行安全評估，以確保橋樑長期使用的安全性。

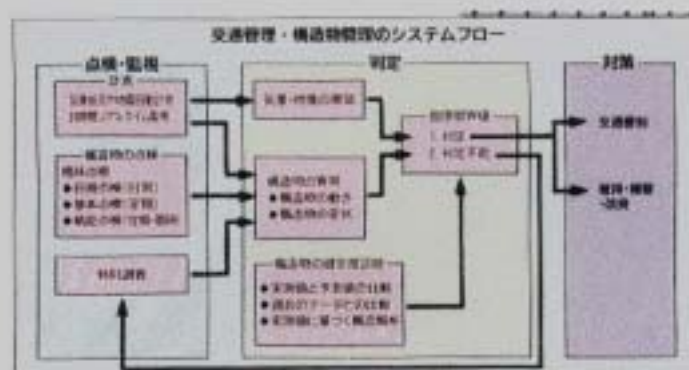
## 第二章附錄      瀨戶大橋維護管理

瀨戶大橋乃跨海大橋，其跨度約為 1446 公尺，為保證其結構安全性及確保其使用壽命，平時維護管理顯得格外重要，維護管理工作包含點檢、補修以及持續觀測，茲將各個項目說明如下。

- 點檢(日常、定期、臨時)
- 補修(塗裝補修)
- 點檢及補修作業車
- 動態觀測

## 管 理

穏やかといわれる瀬戸内海といえども、風雨や強潮流といった**海の厳しい気象**事件があるため、**安全と良好な橋の状態維持**、さらに**橋の寿命**を少しでも延ばすために**保守・点検作業は欠くことのできないもの**となっています。



＜図＞瀬戸大橋パンフ「構造物管理のシステムフロー」

### ◆点 検

#### ・巡回点検

橋梁などの構造物全体の状況を全般的に把握する為に、**定期的**に、気象条件に左右される事なく**徒歩で巡回**する事により、第三者に影響を及ぼすような錆や損傷箇所を、**より早期に発見**し処置することを目的に行っています。

＜写真＞瀬戸大橋パンフ「アンカレイジ内部ではストランド1本1本を厳密に点検」



#### ・基本点検

橋の現状を把握する為に、橋に設置している**管理路**や**点検補修用作業車**により、細部の目を配っています。補剛桁（主桁、横桁、主桁トラス）、主塔、ケーブル、支承、伸脚緩衝工など点検箇所はたくさんありますが、点検箇所にできるだけ近づいて目で確認や損傷が認められところについては、指で触ったり及び軽度の測定器具を用いて点検をす。



＜写真＞瀬戸大橋パンフ「桁内面作業車での点検」

「塔外面作業車での点検」

＜写真＞瀬戸大橋パンフ「ケーブル上の点検」



#### ・精密点検

**高度な計測機器**によって、橋全体の**形**も**相対距離**、ケーブルの**張力**などを測定し、健全度をチェックします。

#### ・異常時点検

暴風時と地震時の異常時及び異常降雨時に限り、通行止規制を解除する判断資料を提供するために実施します。

#### ・臨時点検

必要の都度実施する点検でその内容によって再点検・降雨後点検及び災害後点検に分けています。

**再点検**は巡回・基本点検で発見された変状のうち、次の点検まで猶予できない変状で、その継続的な監視、または計器による高度な測定が必要であると判断された場合をいいます。

**降雨後点検**は、雨水の侵入による滲水や結露など、降雨後に行うことが効果的な内容を主目的とした点検です。

**災害後点検**とは、火災・交通事故・地震等のように突発的に発生する災害に対象にした点検で事故対策室等の決定に従って実施します。



## 補 修

海峡部の橋梁は潮風の影響があり塗装が傷み易い為、各種点検によって発・ された  
変状部位（塗装の剥がれ、傷み、錆など）は速やかに補修塗装を行い、橋梁全体の健  
全度を保つようにしています。



## 点検補修用作業車

瀬戸中央自動車道には、吊橋・斜張橋・トラス橋・高架橋などの長大橋梁が連続しています。これらの長大橋梁は、鳥しょ部の高架橋を除きすべて・製で海上の高所にあり、桁上は自動車、桁内は列車が、そして桁下には多数の船舶が往来しています。

点検補修用作業車は、このような環境下で維持管理の主な業務である塗装作業、橋梁の各部材の点検、桁及び主塔に添加されている設備機器類の点検等を、安全・確実かつ能率的に行えるように、桁外面作業車、桁内面作業車、斜張橋塔作業車、及びケーブル作業車が設置されています。

点検補修用作業車の部材には、耐久性の向上及び、自重の低減を図るために、アルミ合金材料を主として使用しています。



【桁外面作業車】



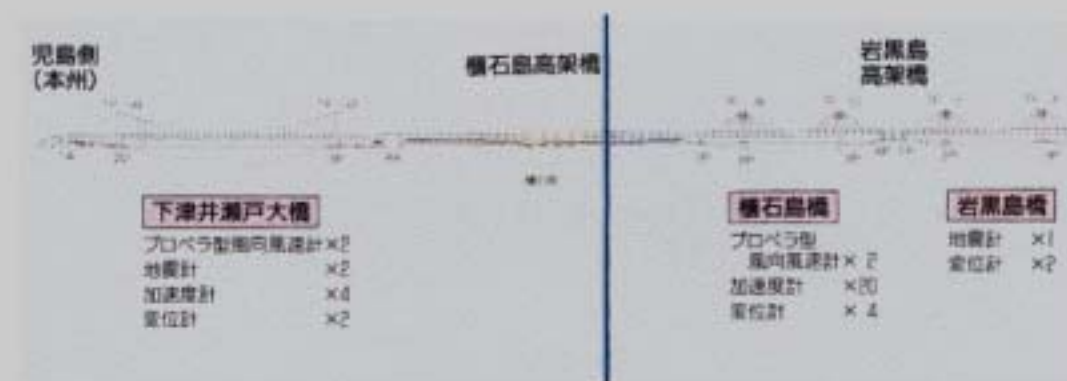
【斜張橋塔作業車】

## 動態観測

瀬戸大橋は海に架かる巨大構造物だけに、橋には風や波など大きな**自然の力**がかかります。吊橋をはじめとする長大橋は、このような力によって**揺れやすく、たわみやすい構造**になっています。この橋の揺れや動きを**先進の科学の眼**で感知し、その状態を正確に把握するのが動態観測です。

瀬戸大橋には、風速計、地震計、加速度計などが**103箇所**（全127成分）に設置され、**24時間リアルタイム**で動態データを収集しています。

<写真> 瀬戸大橋パンフ「動態観測機器配置図」



### ◆橋体変位観測装置

橋桁**中央の白色光**を橋桁下部の**固定カメラ**から捕らえ、**たわみ量**などを計測します。吊橋の変位量を自動計測し管理事務所に**データ**を転送しています。

<写真> 瀬戸大橋パンフ「橋体変位観測装置」



「データ端末」



### ◆気象観測装置

気象観測装置には、気温計、路温計、露点温度計、風向風速計、雨雪量計、視程計、路面水分計、降水検知器などがあります。

<写真>瀬戸大橋パンフ「気象観測装置」



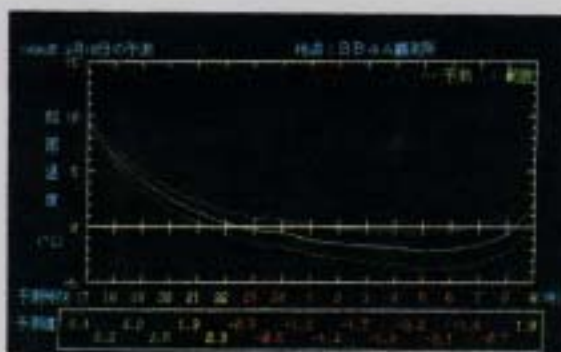
「気象観測装置配置図」



### ●雪氷観測装置

冬期の積雪凍結時に**安全な交通を維持**するため、雪氷観測装置から送られてくるデータを絶えず**監視・分析**しています。

<写真>瀬戸大橋パンフ「雪氷観測データ」



収集されたこれらの貴重なデータはフィードバックされ、**将来の橋建設の架橋テクノロジー**とされます。